

# 災害時における交通ネットワークの代替性・多重性について

## ～交通データを活用した平常時及び災害時の所要時間の比較分析～

*Redundancy of Transport Network at the Time of Disaster*

*—Comparative Analysis of Travel Time at Ordinary Times and at Disaster Using Traffic Data—*

絹田裕一\* 矢部 努\*\* 蛭子 哲\*\*\* 西村 巧\*\*\*\*

By Yuichi KINUTA, Tsutomu YABE, Akira EBIKO and Takumi NISHIMURA

### 1. はじめに

我が国は、世界的にみても地震、洪水等の自然災害リスクが高い国であることが知られている。これらの自然災害に対処するために、我が国では、ハード・ソフトの両面で様々な災害対策を講じることで安全・安心な社会基盤の構築を目指し、実現してきた。一方で、2011年3月に生じた東日本大震災は、「想定外」という言葉が繰り返し用いられるほどに大規模なエネルギーを持った災害であり、厳しい安全基準を満たす我が国の社会基盤であっても壊滅的な打撃を受けることとなった。

かねてより、各地で大規模な自然災害の被害を受ける中で、災害を防ぐという観点での「防災」という考えから、災害の被害を受けにくく、受けたとしても最小限に抑える「減災」という考え方への変化が生じつつあったが、東日本大震災により、この流れが決定的になったといえる。この考え方を交通ネットワークにあてはめると、災害に強い交通ネットワークとは、自然災害によって「壊れない」強固なネットワークを整備することよりも、複数の手段・経路でネットワークを構築することで、完全に断絶してしまうことのないネットワーク、すなわち代替性・多重性のある交通ネットワークを構築することに重きをおくものだと言えよう。

本稿では、上記の視点に基づき、2つの調査・研究事例を紹介する。1つは、東日本大震災での経験に基づき、複数のモードを対象とした広域的な交通ネットワークの代替性・多重性のあり方について研究を行ったものである。2つめは、我が国で比較的頻繁に発生する自然災害である集中豪雨等による地域の分断・孤立可能性に関する調査である。

### 2. 交通モード間代替性・多重性指標による地域別広域交通基盤評価

#### (1) 国土レベルでみた広域交通基盤評価の必要性

平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、道路、鉄道等の交通ネットワークの寸断により社会・経済活動への影響が広域に波及した。一方で、日本海側のルート活用や多様な交通機関（モード）間の連携により代替ルートが確保され救援や復興に役立ったといった面も確認されている。今後も首都直下地震、南海トラフ巨大地震等の大規模災害の発生が想定されており、広域地域にわたる災害に対し、各々の地域特性を考慮しながらネットワークの代替性・多重性の確保を図ることが重要と考えられる。

以下では、多様な交通モードによる広域交通基盤の防災面における機能・効果を客観的に評価するための分析手法の基礎的な検討を行った。

#### (2) 時間経過による災害対応活動の変化

東日本大震災及び阪神・淡路大震災時における救援・支援活動の状況を、行政機関（国土交通省、各地方整備局、運輸局、内閣府、地方自治体等）の公表資料、報告書及び新聞報道データベース等から情報を収集し、整理した。

その結果、大規模な災害発生時には、各地域の多様な状況に応じた多様な災害対応が行われていることが分かった。その特徴は、以下の通りである。

- ① 発災直後の段階は、人命救助や医薬品や最低限の食料輸送等、緊急性が高い活動が実施されており、何らかの手段で被災エリアへと到達すること（連結性）が重要である。

\* 社会基盤計画研究室 主任研究員 \*\* 社会基盤計画研究室 室長 博士（工学） \*\*\* 道路・経済社会研究室 研究員 博士（工学）  
\*\*\*\* 道路・経済社会研究室 室長

②発災からある程度の時間が経過した段階においては、通常時の活動に近い活動が行われており、通常時と変わらない時間で移動できること（時間信頼性）、より広域的なエリアへ自由に移動できることが重要である。

この整理を踏まえ、被災者の救難、救助等災害応急対策が行われている時期を「応急対策期」、これらの行動が行われていない時期を「復旧期」として、交通基盤に求められる役割を整理した。

**(3) 災害発生時に交通基盤に求められる役割**

過去の大規模災害時における交通モード間の代替を整理し、求められる交通基盤を抽出した。

- ①応急対策期において求められる広域交通基盤  
発災直後の緊急的な人員輸送、物資輸送のため、近接エリアからの道路、鉄道経路及びエリア近隣の港湾、空港が必要となる（連結性の評価）。
- ②復旧期において求められる広域交通基盤  
発災直後に比べ日常的な交通行動への対応が求められるため、通常時と比較し所要時間が大きく変化しない道路、鉄道経路が必要となる（時間信頼性の評価）。港湾、空港についてもエリア近隣にあることが求められる。

**(4) 分析の枠組み**

以下では、大規模災害発生時の広域交通基盤の強さ、弱さを全国地域間で相対的に比較するための評価指標を構築し、モード間の代替性を定量的に分析する手法を検討した。

**a) 分析対象とする広域交通基盤**

分析対象とする広域交通基盤は、県庁所在都市や生活圏の中心都市を相互に結び、災害時の救援活動等に用い、国民の生活や産業活動等を支援するものと定義する。具体的には、表-1に示す交通施設を分析対象とした。

**b) 被害想定の設定**

過去に「非常災害対策本部」、「緊急災害対策本部」が設置された地震、風水害、雪害、火山噴火の大規模な自然災害時の交通施設の被害状況の整理及び中央防災会議等の大規模災害の被害想定を参考とし、表-2に示す設定とした。

**c) 評価対象とする地域の単位**

代表的な都市を中心とした人々の日常的な活動の結びつきによる地域区分である生活圏（国土交通省全国幹線流動調査全国207生活圏）を評価対象とした。

**d) 分析対象とする地域間移動の範囲**

過去の事例より大規模災害発生時には、全国より救援のための人員、物資が輸送されている。そのため、評価対象生活圏から全国への移動を考慮し、指標設定を行った。

応急対策期と復旧期では、交通基盤の被害状況及び災害活動等の実施状況も異なることから、移動の相手先を以下の通り想定した。

- ①応急対策期に評価する地域間移動  
緊急な災害対応が求められる時期であるため、評価対象地域の所属する地域ブロックと隣接する地域ブロックとの移動を評価する。
- ②復旧期に評価する地域間移動  
多様な災害対応が本格化する時期であり、全国からの人員・物資の確実な輸送が必要なため、全国の広域地域ブロック（9地域）との評価を実施する。

**表-1 分析対象とする広域交通基盤**

交通モード	分析対象
道路	高速道路・自動車専用道路、国道、主要地方道、その他の重要拠点間を結ぶ道路
鉄道	新幹線、在来線（JR、第三セクター、大手私鉄等の旅客鉄道、臨海鉄道等の貨物鉄道）
港湾	国際戦略港湾・国際拠点港湾・重要港湾、地方港湾
空港	拠点空港、地方管理空港、その他の空港、共用空港、公共用ヘリポート

**表-2 災害種別の被災想定の設定**

災害種別	道路	鉄道	港湾	空港
地震	高速道路、幹線国道全線寸断	新幹線運休	-	-
津波	高速道路、幹線国道のうち標高10m以下の道路区間を寸断	標高10m以下の区間を通過する新幹線、在来線運休	標高10m以下の拠点港湾は使用不可	標高10m以下の拠点空港は使用不可
風水害	事前通行規制区間に指定されている道路リンク寸断	-	-	-

(5) 代替性評価指標の検討

以下では、広域交通基盤を定量的に評価するための評価指標を検討した。代替性・多重性の評価指標は、通常時からの変化についても分析するために、応急対策期、復旧期の災害発生時の指標に加え、通常時の評価指標についても検討した。

a) 通常時の代替性・多重性評価指標

通常時において道路・鉄道は、最短経路以外にも、所要時間が大きく変化しない経路が存在すれば、代替輸送は可能である。

上記の視点から、モード内代替の場合は通常時最短経路と第2経路の所要時間を比較し、モード間代替の場合はそれぞれの最短経路の所要時間を比較し、その比率（迂回率）が1.5未満注1)となる地域数を評価指標とした（表-3）。

港湾・空港については、生活圏内もしくは生活圏近隣の港湾・空港の有無により評価点を与えるものとした。

なお、過去の大規模災害において、港湾から空港、空港から港湾へのモード間代替事例が行われたケースがほとんど見られなかったため、検討対象から除外することとした。

注1) 国土交通省社会資本整備審議会「防災機能の評価指標」を参考とし、災害耐性のある代替道路の迂回率は1.5未満と設定した。

表-3 通常時の代替性・多重性評価指標

交通モード	代替モード			
	道路	鉄道	港湾	空港
道路	道路第2経路所要時間/道路最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	鉄道最短所要時間/道路最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	輸送拠点となる港湾の有無	輸送拠点となる空港の有無
鉄道	道路最短所要時間/鉄道最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	鉄道第2経路所要時間/鉄道最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	輸送拠点となる港湾の有無	輸送拠点となる空港の有無
港湾	道路第2経路所要時間/道路最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	鉄道第2経路所要時間/鉄道最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	輸送拠点となる港湾の有無	-
空港	道路第2経路最短/道路最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	鉄道第2経路所要時間/鉄道最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	-	輸送拠点となる第2空港の有無

b) 応急対策期の代替性・多重性評価指標

災害発生直後は、被災エリアから遠隔地への交通よりも、隣接地域への経路をより多く確保する役割が、広域交通基盤に求められる。

そのため、災害発生時にも隣接ブロックへの経路数（総数）が確保されていることを他地域への連結性の評価指標とする。港湾・空港については、通常時と同様の指標とした（表-4）。

表-4 応急対策期の代替性・多重性評価指標

交通モード	代替モード			
	道路	鉄道	港湾	空港
道路	隣接地域への発災時の道路経路数	隣接地域への発災時の鉄道経路数	輸送拠点となる港湾の有無	輸送拠点となる空港の有無
鉄道	隣接地域への発災時の道路経路数	隣接地域への発災時の鉄道経路数	輸送拠点となる港湾の有無	輸送拠点となる空港の有無
港湾	隣接地域への発災時の道路経路数	隣接地域への発災時の鉄道経路数	輸送拠点となる港湾の有無	-
空港	隣接地域への発災時の道路経路数	隣接地域への発災時の鉄道経路数	-	輸送拠点となる第2空港の有無

c) 復旧期の代替性・多重性評価指標

復旧期においては、近接エリアへの交通手段の確保に加え、より広域的な地域から通常時と変わらない所要時間でアクセス可能なことが重要である。

そのため、道路・鉄道は災害発生時の代替経路利用時の所要時間と通常時の最短経路所要時間の比率（迂回率）が1.5未満となる地域数を復旧期の評価指標とする。港湾・空港については、通常時及び応急対策期と同様の指標とした（表-5）。

表-5 復旧期の代替性・多重性評価指標

交通モード	代替モード			
	道路	鉄道	港湾	空港
道路	発災時の道路最短所要時間/通常時の道路最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	発災時の鉄道最短所要時間/通常時の道路最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	輸送拠点となる港湾の有無	輸送拠点となる空港の有無
鉄道	発災時の道路最短所要時間/通常時の道路最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	発災時の鉄道最短所要時間/通常時の鉄道最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	輸送拠点となる港湾の有無	輸送拠点となる空港の有無
港湾	発災時の道路最短所要時間/通常時の道路最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	発災時の鉄道最短所要時間/通常時の鉄道最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	輸送拠点となる港湾の有無	-
空港	発災時の道路最短所要時間/通常時の道路最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	発災時の鉄道最短所要時間/通常時の鉄道最短所要時間の比率が1.5未満の地域数	-	輸送拠点となる第2空港の有無

**(6) 代替性・多重性評価方法の信頼性確認（ケースワーク）**

前述の(4)において設定した広域交通基盤の評価指標の妥当性を検証するため、①静岡中部生活圏、②名古屋生活圏、③伊賀生活圏をモデルケースに、通常時、応急対策期（災害発生時）、復旧期（災害発生時）における指標評価を行った。

指標評価は、各生活圏の交通モード間の代替パターン別に三段階で加点評価（◎：3点、○：1点、×：0点）し、代替先のモード別に100点満点換算に標準化した評価点を算出し、代替モード別の評価点を積み上げることで、分析対象生活圏の総合評価点を、通常時、発災時（応急対策期、復旧期）それぞれ算出した。

指標による評価の結果、例えば地震発生時に応急対策期、復旧期で静岡中部生活圏と名古屋生活圏の評価の逆転が起きるなど、広域交通基盤に求められる役割に応じて別途指標を設定することの必要性が示唆された。また、津波発生時には全般的に総合評価が低くなる、風水害では各地域ともに比較的総合評価点が高い等、本分析で設定した指標は評価結果に災害種別の特徴をある程度反映することが可能であると考えられる。

**3. 集中豪雨等による通行止め発生時の地域の分断・孤立可能性に関する分析**

**(1) 分析の概要**

本分析では、山地部の集落が多い地形条件であり、道路線形も複雑な地域である長野県を対象としたものである。長野県は、地震や大雨等の自然災害も多く、複雑な道路線形とも相まって、自然災害が生じた際に孤立地域（孤立集落）が発生しやすい地域でもあり、安心・安全な生活を維持するためには、災害時における道路のリダンダンシーを確保することが課題の1つである。

そこで、災害時における道路のリダンダンシーを評価することを目的として、集中豪雨等による道路通行規制が生じた際と平常時において、①県内の防災拠点（各市町村役場を想定）からの等時間圏域を比較することによる孤立可能性地域の把握、②高度医療施設へのアクセス性が低下する地域の把握を試みる。また各分析では、①市町村中心からアクセス不可となる地域（孤立可能性地域と定義）の面積

（メッシュ数）や人口、②各市町村中心から第3次医療施設への移動時間を指標として算出を試みた。

**(2) 分析ケース**

本稿では、表-6に示す2つのケースの分析結果を示す。

ケース1では、孤立可能性地域を市町村役場からのアクセスが不可能となる地域と定義し、市町村役場からの等時間圏域を災害時と平常時とで比較することでこれを把握する。

ケース2では、各地域（各市町村役場で代表）から高度医療施設へのアクセス性を把握することを目的とし、災害時と平常時における所要時間を比較することで、災害時に大幅な迂回が発生することで所要時間が増加（アクセス性が大幅に低下）する地域を把握する。

表-6 分析ケース

	ケース1	ケース2
目的	孤立可能性地域の把握	高度医療施設へのアクセス性の把握
想定場面	全道路を対象に、自然災害による事前通行規制区間が通行不可のケースを想定	緊急輸送路指定区間を対象に、自然災害による事前通行規制区間が通行不可のケースを想定
分析方法	市町村役場からの等時間圏域を比較	市町村役場と第3次医療施設間の所要時間
分析条件	時間雨量が10mm以上、連続雨量が100mm以上の場合（＝災害時の設定）	

**(3) 分析方法**

市町村役場からの等時間圏域の算定方法を図-1に示す。具体的には、まず各メッシュ中心（セントロイド）から最寄りのノードに最短経路でアクセスリンクを設定するとともに、市町村役場及び第3次医療施設から最寄りノードへのアクセスリンクを設定する。次に、民間プローブデータに基づくDRMリンク別旅行速度を用いて、各メッシュと市町村役場及び市町村役場と第3次医療施設との最短経路探索を行い、それぞれの所要時間を算定する。なお、災害時の所要時間は、過去の規制実績や事前通行規制（時間雨量が10mm以上、連続雨量が100mm以

上の場合)に指定されているリンクを通行不可能とした場合の所要時間として定義する。

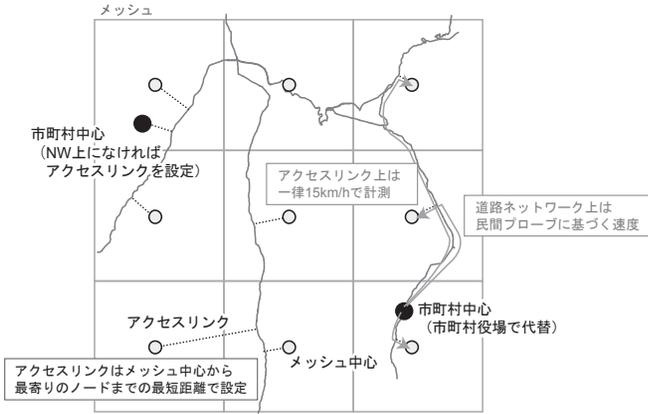


図-1 分析用のためのネットワーク設定方法

#### (4) 分析に用いるデータ

DRM リンク別旅行時間として、民間プロープデータを用いる。また、災害時の規制状況を把握するためのデータとして「直轄国道における過去の規制実績（規制区間）」、「事前通行規制区間（時間雨量・連続雨量）」、「緊急輸送路指定区間」を用いる。人口データは、平成 22 年国勢調査メッシュデータを用いる。

#### (5) 分析結果

a) ケース 1：孤立可能性地域（市町村役場からのアクセス不可地域）の把握

図-2 は平常時と災害時の等時間圏域図を比較したものである。分析の結果、隣接県との境界付近や、県西部の山間部や県南西部の飯田市等に市町村役場とのアクセスが不可能となる孤立地域が存在することが確認された。

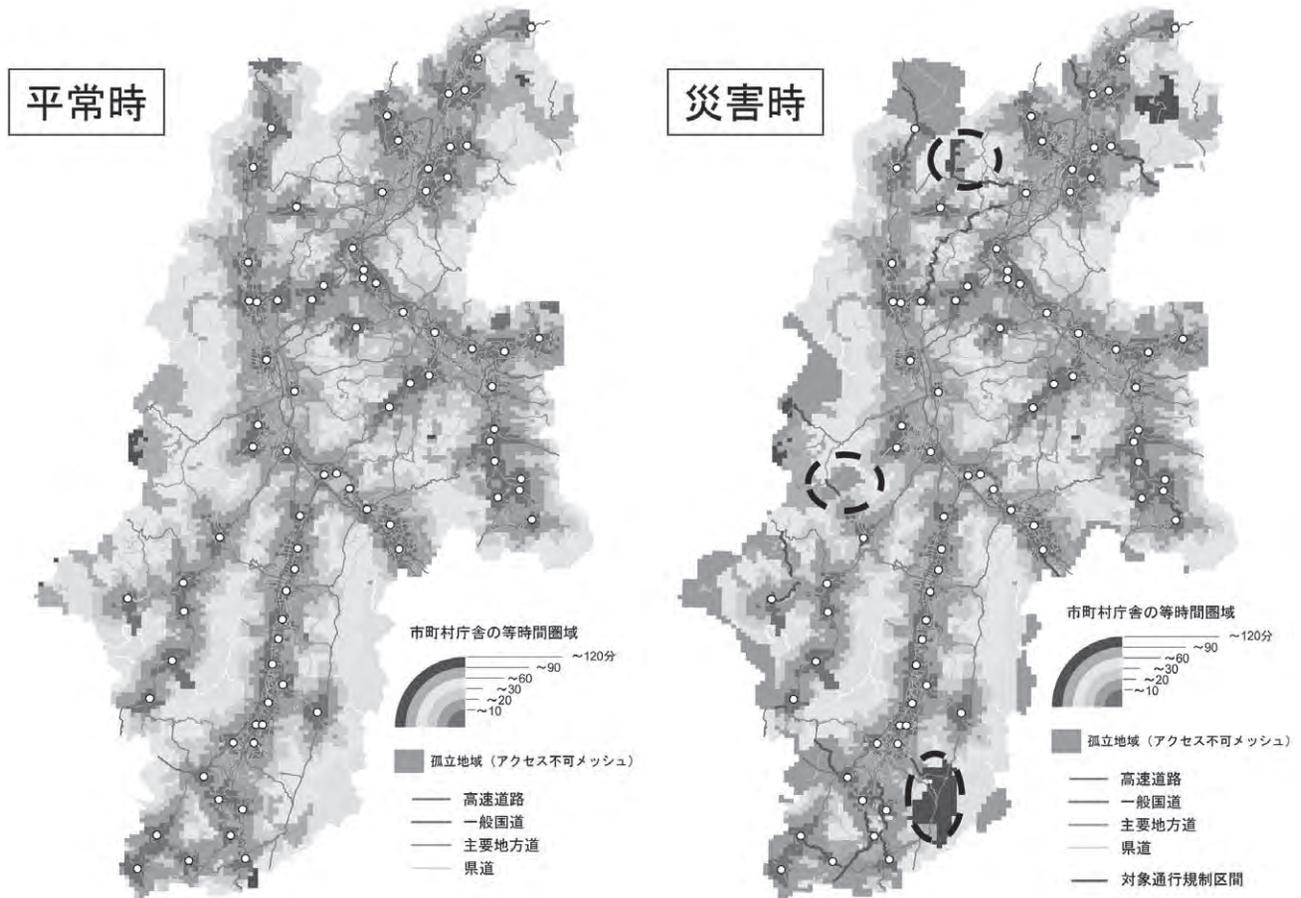


図-2 平常時と災害時（集中豪雨等による通行規制時）の市町村役場からの等時間圏域マップ

図-3は、平常時と災害時の市町村役場へのアクセス時間帯別人口を示したものであり、長野県においては、災害時に孤立可能性地域となる地域に約37,000人が居住していることが明らかとなった。

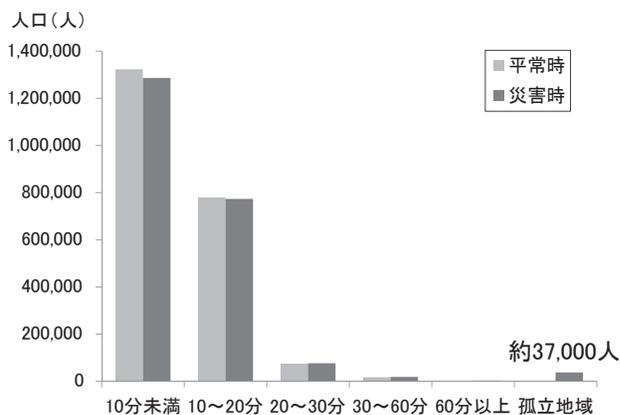


図-3 市町村役場へのアクセス時間圏別人口

b) ケース2：各市町村役場から高度医療施設へのアクセス性の把握

図-4は、緊急輸送道路の利用を前提としても、災害時には第3次救急医療施設へのアクセスが不可となる地域（市町村）を示したものである。分析の

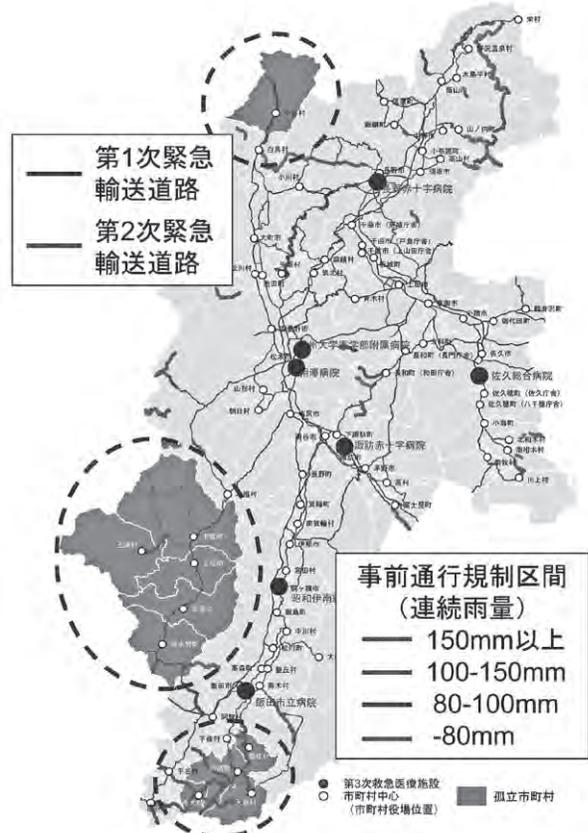


図-4 通行規制時の療施設へのアクセス不可地域

結果、県西部、北西部、南西部の10町村において、第3次医療施設へのアクセスが不可能となることが確認された。

また、図-5は、第3次医療施設へのアクセスが可能である市町村の組み合わせについて、平常時と災害時の所要時間の比較結果を示したものである。

各市町村から第3次医療施設までの経路のうち、迂回の発生により所要時間が増加する組み合わせが19経路存在し、所要時間の増加が最大となる経路では、平常時の1.46倍となることが明らかとなった。

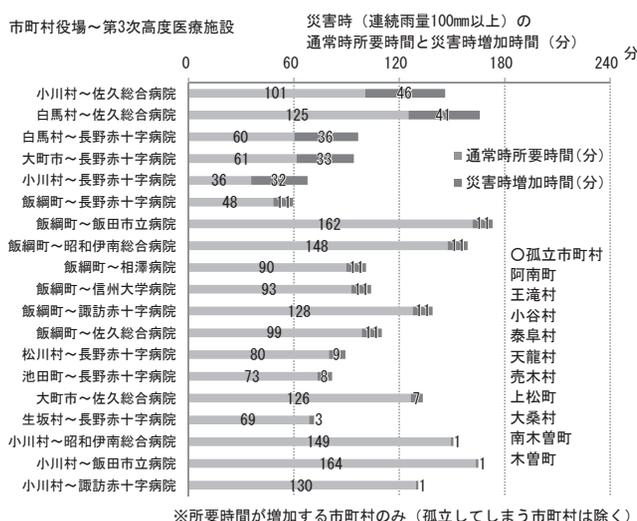


図-5 所要時間算定方法

4. おわりに

本稿では、東日本大震災の経験を経て改めて重視されつつある交通ネットワークの代替性・多重性に関しての検討を行った。

2章では、災害時における交通基盤の役割という観点から、所要時間データを用いた交通ネットワーク評価を試み、所要時間・経路数を指標とした広域交通の代替性評価手法を構築した。今後は、ケースワーク対象地域以外にも、全国の生活圏地域を対象に分析を行い、評価結果を再検証し、より現実妥当的な指標の構築を目指すものである。

3章では、日常的に生じうる集中豪雨を対象に地域の安全・安心についての評価を試みた。災害時と平常時のアクセス性を比較することで、孤立可能性地域やアクセス性が著しく低下する地域の把握手法を提案した。今後は、各地域における対策立案に寄与する分析を行っていくことが重要である。